

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 24320061152658

UDC \_\_\_\_\_

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

多类分类支持向量机在信用评级领域的  
应用及核参数选择研究

The Application of Multi-category Support Vector Machine  
in Credit Rating and Study of Kernel Parameter Selection

张晶晶

指导教师姓名: 董槐林 教授

专 业 名 称: 计算机软件与理论

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩时间: 2009 年 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2009 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘要

支持向量机 (Support Vector Machine) 是数据挖掘的新方法, 也是一种小样本统计工具, 它在解决小样本、非线性及高维的模式识别问题上具有其他机器学习方法难以企及的优势。在支持向量机二类分类方法的基础上, 本文深入研究了多类分类的算法及其应用。

巴塞尔新资本协议希望并鼓励银行业发展内部信用评级系统, 如何寻找到一种客观、可行的评级方法, 如何构建内部评级系统, 对国内银行从业者提出了新的要求和挑战。信用评级从科学的角度对信用度进行定性和定量分析, 其本质是一个非线性的分类问题, 用支持向量机可以很好地解决。

本文在前人研究的基础上, 围绕着支持向量机多类分类算法的改进及其在信用评级领域应用而展开。

首先, 根据巴塞尔新资本协议提出的信用评级体系, 建立对应的评级模型。该模型的建立将信用评级过程标准化, 层次化。本文主要针对模型层进行分析, 通过改进模型层的核心算法, 实现不同的评级方法。

其次, 将层次支持向量机、纠错编码支持向量机等几种适合用于多类分类的算法加以改变和优化, 使之有更好的分类效果。然后结合银行提供的评级样本, 使用工具箱实现了机器学习和数据评估过程。最后从性能、分类效果和易实现等角度分析了这几种多类分类算法的相对优劣。

本文还分析了核函数的选取对支持向量机分类结果的影响, 通过调节参数, 对不同参数条件下的分类效果进行实验。分析了几种最常见核函数的性能和特点, 阐述了核函数的构造和相关定理, 选择实验所用的核函数——Gauss 径向基核函数; 同时研究了 Gauss 径向基核函数两个参数意义, 根据数据源样本对两个参数  $\sigma$  和  $C$  进行调整, 找寻参数值与支持向量机学习、推广性能之间的关系, 最后总结了参数调节的方法。

关键字: 支持向量机, 多类分类, 信用评级

## Abstract

Support Vector Machine is a new method of Data Mining, and also a tool of small sample statistics, which performs better in dealing with small sample, non-linear and high-dimension pattern recognition problem than any other machine learning method. On the foundation of two-category Support Vector Machine, the algorithm and the application of multi-category is a problem worthy to research.

BASEL NEW CAPITAL ACCORD is encouraging the banking developing their inner credit rating system, so the rating problem is becoming more important. An objective and effective rating method will be a feasible way to deal with this problem. Credit rating makes qualitative and quantitative analysis to the credit level on the view of science, which is also a non-linear classification problem. Support Vector Machine will perform well in this problem.

This dissertation is focusing on following 3 points.

First, basing on the BASEL NEW CAPITAL ACCORD, builds the model of credit-rating, and standardizes and hierarchical the process of credit rating. The dissertation analysis the model level, implements the different rating methods by improving the main algorithm of model level.

Second, this dissertation based on the sample of bank, improves and optimizer which are suitable for multi-category, including the Hierarchy Support Vector Machine and correcting coding Support Vector Machine algorithms, implements the machine learning and data rating process with the help the tool box, which gets the better classification result, compares the performance, classification result of these algorithms.

Finally in the dissertation, the effect factor of kernel function is analyzed; the experiments in different parameters by adjusting the parameter are implemented. Besides these, the performance and features of several common kernel functions are also analyzed, including their structure and related theories. The kernel function of this dissertation is Gauss Radial Basis is selected according to the analyses based on

its own features; it studies the two parameters of Gauss Radial Basis kernel function, by adjusting  $\sigma$  and  $C$ , looking for the relationship the parameter and the learning and populating ability, and summarize the method of parameter adjutancy.

Key word: Support Vector Machine, Multi-category, Credit Rating

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目录

第一章 绪论 .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 国内外相关文献综述 .....	2
1.3 本文主要内容和组织结构 .....	3
1.3.1 课题的提出和意义 .....	3
1.3.2 本文的组织结构 .....	4
第二章 支持向量机发展史与应用综述 .....	5
2.1 支持向量机的定义和表达 .....	5
2.1.1 机器学习 .....	5
2.1.2 统计学习理论 .....	7
2.1.3 支持向量机原理 .....	12
2.2 核 .....	18
2.2.1 核函数定义 .....	18
2.2.2 核构造 .....	20
2.2.3 常用核函数 .....	21
2.3 多类分类支持向量机 .....	22
2.3.1 “一类对余类”算法 .....	23
2.3.2 “一对一”算法 .....	23
2.3.3 基于二叉树结构的多类分类算法 .....	24
2.3.4 纠错输出编码方法 .....	26
2.3.5 直接确定多类目标函数 .....	26
2.3.6 决策有向无环图算法 .....	28
2.4 本章小结 .....	29
第三章 信用评级分析 .....	30
3.1 信用评级概述 .....	30
3.1.1 信用评级的必要性 .....	30
3.1.2 我国目前的信用评级现状 .....	31
3.1.3 信用评级体系 .....	32
3.2 评级决策支持系统 .....	33
3.2.1 评级决策支持系统建立 .....	33
3.2.2 评级决策支持系统实现方法 .....	34
3.3 本章小结 .....	35
第四章 多类分类支持向量机在评级领域的应用比较 .....	37
4.1 实验方法及工具 .....	37
4.2 “一类对余类”算法实验 .....	37
4.2.1 算法过程 .....	38
4.2.2 输出结果分析 .....	38
4.3 改进的层次多类分类向量机实验 .....	39

4.3.1 层次支持向量机.....	39
4.3.2 算法设计.....	40
4.3.3 输出结果分析.....	41
<b>4.4 纠错编码支持向量机实验.....</b>	<b>43</b>
4.4.1 算法框架.....	43
4.4.2 编码方式.....	44
4.4.3 训练过程.....	47
4.4.4 解码方式.....	47
4.4.5 输出结果分析.....	48
<b>4.5 性能比较.....</b>	<b>49</b>
4.5.1 分类效果.....	50
4.5.2 时间性能.....	49
<b>4.6 本章小结.....</b>	<b>50</b>
<b>第五章 核函数选取及核参数对分类结果的影响分析 .....</b>	<b>51</b>
<b>5.1 各种核函数分析 .....</b>	<b>51</b>
5.1.1 多项式核.....	51
5.1.2 Mercer 核.....	53
5.1.3 正定核.....	54
5.1.4 Gauss 径向基核.....	54
<b>5.2 核函数选择对分类效果的影响.....</b>	<b>55</b>
<b>5.3 核函数参数的选取.....</b>	<b>55</b>
<b>5.4 结果分析.....</b>	<b>56</b>
<b>5.5 本章小结.....</b>	<b>58</b>
<b>第六章 结论与展望 .....</b>	<b>60</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>62</b>
<b>攻读硕士期间发表论文 .....</b>	<b>66</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>67</b>



# Contents

## Chapter 1 Introduction.....错误！未定义书签。

- 1. 1 Foreword.....错误！未定义书签。
- 1. 2 Background .....错误！未定义书签。
- 1. 3 Main Contents and Architecture .....错误！未定义书签。
  - 1. 3. 1 Main research.....错误！未定义书签。
  - 1. 3. 2 Architecture.....错误！未定义书签。

## Chapter 2 The Development of Support Vector Machine错误！未定义书签。

- 2. 1The Definition of SVM.....错误！未定义书签。
  - 2. 1. 1 Machine Learning .....错误！未定义书签。
  - 2. 1. 2 Statistical Learning Theory.....7
  - 2. 1. 3 Support Vector Machine .....12
- 2. 2 Kernel.....18
  - 2. 2. 1 The Definiation of Kernel Function.....18
  - 2. 2. 2 Kernel.....20
  - 2. 2. 3 Examples of Kernel Function .....21
- 2. 3 Multi-category Support Vector Machine.....22
  - 2. 3. 1 'One against Rest' SVM .....23
  - 2. 3. 2 'One against One' SVM.....23
  - 2. 3. 3 Bianry Tree SVM.....24
  - 2. 3. 4 Error-correcting Output Coding SVM .....25
  - 2. 3. 5 Multi-object Funcion .....2 错误！未定义书签。
  - 2. 3. 6 Directed Acyclic Graph SVM.....28
- 2. 4 Summary .....29

## Chapter 3 Credit Rating.....30

- 3.1 Introduction of Credit Rating.....30
  - 3. 1. 1 Necessity of Credit Rating .....30
  - 3. 1. 2 The Present Situation of China's Credit Rating.....31
  - 3. 1. 3 Credit Rating System .....32
- 3. 2 Credit Rating Decision Support System .....33
  - 3. 2. 1 The Designment of Dss.....33
  - 3. 2. 2 The Implement of DSS .....34
- 3. 3 Summary .....35

## Chapter 4 The Application of Multi-category Support Vecotr

<b>Machine in Credit Rating</b> .....	<b>37</b>
---------------------------------------	-----------

<b>4. 1 Method and Tool of Experiments</b> .....	<b>37</b>
<b>4. 2 'One against Rest' SVM</b> .....	<b>37</b>
4. 2. 1 The Process of The Algorithm .....	38
4. 2. 2 Output Analysis.....	38
<b>4. 3 H-SVM Algorithm</b> .....	<b>39</b>
4. 3. 1 H-SVM.....	39
4. 3. 2 The Process of The Algorithms .....	40
4. 3. 3 Output Analysis .....	41
<b>4.4 Error-correcting Output Coding</b> .....	<b>43</b>
4. 4. 1 Algorithm Framework .....	43
4. 4. 2 Encoding .....	44
4. 4. 3 Training Process.....	47
4. 4. 4 Decoding .....	47
4. 4. 5 Output Analysis .....	48
<b>4.5 Comparison of Performance</b> .....	<b>49</b>
4. 5. 1 Classification Efection.....	49
4. 5. 2 Timing Performance .....	49
<b>4.6 Summary</b> .....	<b>50</b>

<b>Chapter 5 The Selection of Kernel Function and the Parameter</b> .....	<b>51</b>
---	-----------

<b>5. 1 Kernel Function Anaylsis</b> .....	<b>51</b>
5. 1. 1 Polynomial Kernel .....	51
5. 1. 2 Mercer Kernel .....	53
5. 1. 3 Positive Definite Kernel.....	54
5. 1. 4 Gauss RBF Kernel .....	54
<b>5. 2 The Selection of Kernel Funciton</b> .....	<b>55</b>
<b>5. 3 The Selection of Parameter</b> .....	<b>55</b>
<b>5. 4 Output Analysis</b> .....	<b>56</b>
<b>5. 5 Summary</b> .....	<b>58</b>

<b>Chapter 6 Conclusion and Prospect</b> .....	<b>60</b>
--	-----------

<b>References</b> .....	<b>62</b>
-------------------------	-----------

<b>Publications During Master Period</b> .....	<b>6 错误！未定义书签。</b>
--	--------------------

<b>Acknowledgements</b> .....	<b>67</b>
-------------------------------	-----------

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

数据挖掘 (Data Mining) 技术是于 1989 年 8 月第 11 届国际联合人工智能学术会议上首次提出。经过 20 年的研究实践, 数据挖掘技术已经吸收了许多学科的研究成果并形成独特的研究分支, 由于大型数据库系统的广泛使用以及把数据转换成有用知识的迫切需要, 其经济价值也逐渐显现。

支持向量机 (Support Vector Machine) 作为数据挖掘中的重要方法<sup>[1]</sup>, 于 20 世纪 90 年代由 Vapnik<sup>[2-5]</sup>提出。本质上说它是一种基于小样本统计的模式识别方法<sup>[6-8]</sup>, 是克服“维数灾难”和“过学习”等机器学习中传统问题的有效手段<sup>[5]</sup>。近年来, 支持向量机在理论研究和算法实现及应用方面都取得相当的进展<sup>[9,10,11]</sup>。支持向量机在解决分类问题诸如文本识别<sup>[12-18]</sup>、垃圾邮件过滤、人脸识别<sup>[19-22]</sup>、医疗诊断<sup>[23,24]</sup>、图像处理、信用评级<sup>[25-30]</sup>、自然语言处理等领域, 都取得了很好的效果。

支持向量机最早是基于二类分类问题提出的, 不能直接用于多类分类, 但实际应用中更多的是多类分类问题, 因此二类分类的应用范畴有所受限。如何有效地将其推广到多类分类问题还是一个正在研究的问题。当前已经有许多算法将支持向量机推广到多类分类问题, 这些算法统称为“多类分类支持向量机”

(Multi-category Support Vector Machine)。它们可以大致分为两大类: 一是通过某种方式构造一系列的两类分类器并将它们组合在一起来实现多类分类; 二是将多个分类面的参数求解合并到一个最优化问题中, 通过求解该最优化问题“一次性”实现多类分类。后者在最优化问题求解过程中涉及到的变量远远多于第一类方法, 其训练速度和分类精度都不及前者, 尤其当训练样本数非常大时, 这一问题更加突出。因此, 第一类方法是常用的多类分类算法。

同时, 随着金融事业的快速发展, 金融领域的信用评级问题愈显重要, 要实现有效的信用评级, 公正性和客观性是首要目标, 其核心算法是一个典型的多类分类问题。评级机构对评级对象的输出结果通常都是由一系列级别组成, 而非简单的是非输出, 这就意味着信用评级需要一个有效的、支持小样本学习的多类分

类算法。多类分类支持向量机正是解决这个问题良好工具。

## 1.2 国内外相关文献综述

近年来,国内外已有许多学者对支持向量机理论尤其是多类分类算法,及其在各行业,包括信用评级领域的应用进行了深入研究。

Vapnik 和他的研究小组<sup>[11-14]</sup>针对手写阿拉伯数字的识别问题,构造了处理多类问题的几个支持向量机。在他们使用的支持向量机中,主要采用的都是多项式核函数、径向基核函数以及 sigmoid 核函数。他们不仅比较了不同类型的支持向量机,而且还对支持向量机与其他的分类算法进行了比较,从而得出支持向量机在分类问题上的优势<sup>[1]</sup>。

Joachims<sup>[15,17]</sup>和 Dumais<sup>[18]</sup>利用支持向量机实现了文本分类问题。文本分类应用颇广,包括邮件过滤、网页搜索和办公自动化等。他们以路透社第 21578 号新闻数据库作为研究对象,在研究过程中,先对数据库进行预处理,去掉文本中与类别无关的单词,再从余下的词中找出词根,这些词根必须是至少在 3 篇以上的文本中出现过的,把词根按字母顺序组成字典,然后把数据库中的每个文本根据字典表为一个多维向量,选取线性核函数实现分类算法。通过实验结果表明支持向量机在性能上优于决策树算法和 k-邻近算法等标准的分类算法。

Jaakkola 和 Haussler<sup>[21]</sup>利用支持向量机研究了生物信息技术中的蛋白质分类问题,该问题是要根据已知的某一蛋白质的氨基酸序列,推断蛋白质是否属于已有的各类蛋白质,或者确定它属于已有的哪一类蛋白质,原则上是一个多类分类问题。他们把氨基酸序列看做输入,把蛋白质类别看成输出,用已知的各类蛋白质构成训练集,用支持向量机技术新型分类。

Jonsson<sup>[22]</sup>等人在将支持向量机方法应用到人脸识别的过程中发现支持向量机方法的绝对性能对表示空间和预处理技术是相对不敏感的。他们在实验中考察了人脸识别过程中的各个处理步骤。尤其是表示空间和光度标准化技术,支持向量机对此是相对不敏感的,而且他们认为支持向量机方法与特征脸方法相比的最大优点在于支持向量机能从训练数据中抽取有关的差别信息,因此,当表示空间中没有强调差别信息时。支持向量机方法效果比特征脸方法更好。而 Hua 和 Sun 等人<sup>[23]</sup>用支持向量机作为分类器在此任务上取得了更佳的效果。

北京工业大学的薛毅<sup>[24,25]</sup>通过支持向量机来考虑人工心脏瓣膜置换手术的安全率问题。他选用北京阜外医院的一组数据，将原始数据进行分类预处理，得到原始训练集，找出导致病人死亡以及决定病人生存时间长短的重要影响因素，从而通过各种治疗方法减少或消除危险因素，降低手术的死亡率或者延长病人的术后生存时间。

支持向量机在信用评级领域<sup>[49]</sup>也有了一定的研究。Wun-Hwa Chen 和 Jen-Ying Shih<sup>[26]</sup>利用支持向量机对台湾的信用评级系统进行研究。他们通过使用支持向量机技术生成一个信用评级信息的自动分类模型，并引入证券市场信息、政府金融支持和股东金融支持三个新的变量以增强分类效果，这三个变量在以往的研究中并未得到重视。通过实验证明，这个方法得到的评级结果优于著名的评级方法神经网络方法。Zan Huang 和 Hsinchun Chen 等人<sup>[27]</sup>则利用支持向量机和神经网络对美国 and 台湾金融市场的信用评级进行比较分析。华中科技大学的肖文兵<sup>[28,29,30]</sup>等人建立了新的个人信用评估预测模型，利用二类分类支持向量机进行信用评估，并通过交叉验证来评估支持向量机分类的准确性，并对误分类进行了风险代价分析。Jae<sup>[31]</sup>等人还利用支持向量机建立破产预警系统，并对核函数的参数调整。

## 1.3 本文主要内容和组织结构

### 1.3.1 课题的提出和意义

本研究课题是基于当前我国银行内部信用评级的需求。近几年，我国商业银行已经逐步建立起了内部信用风险评级体系，但是与国际性银行相比，在评级方法、数据采集、加工、评级结果检验、评级工作组织以及评级体系适用性等方面都存在着相当的差距。而多类分类支持向量机虽然已经应用于诸多领域，但在信用评级领域，常见的仍然是二类分类算法。根据某银行提供的信用评级数据库，本文将尝试使用不同的多类分类算法，并根据数据源的结构对算法进行改进，以实现较好的评级结果。

本文意义在于根据信用评级体系，建立相对应的评级模型。该模型的建立将信用评级过程标准化，层次化；将层次支持向量机、纠错编码支持向量机等几种适合用于多类分类的算法加以改变和优化，使之有更好的分类效果。然后结合银

行提供的评级样本，使用工具箱实现了机器学习和数据评估过程。最后从性能、分类效果和易实现等角度分析了这几种多类分类算法的相对优劣；并分析核函数的选取对支持向量机分类效果的影响因素，通过调节参数、对不同参数条件下的分类效果进行实验，在该训练集的实验效果基础上分析对影响核函数选择的因素。

本研究利用matlab开发工具<sup>[33]</sup>，借助libsvm工具箱<sup>[34]</sup>，对样本进行实验并对实验结果加以分析。

### 1.3.2 本文的组织结构

文章由六个部分组成，结构如下：

第二章阐述理论背景，介绍支持向量机的发展，详述多类分类支持向量机算法，并比较了不同算法的相对优劣；

第三章基于巴塞尔新资本协议建立信用评级体系，构建评估模型；

第四章细述多类分类支持向量机不同算法在信用评级中具体应用，并对实验结果进行比对与分析；

第五章分析核函数的选取规则和影响参数；

第六章在总结全文的基础上展望多类分类支持向量机在信用评级领域的应用。

## 第二章 支持向量机发展史与应用综述

统计学习理论从 20 世纪 90 年代以来受到了越来越多的重视，很大程度是因为发展出了支持向量机方法，本章将先阐述机器学习的原理，通过统计学习理论引出支持向量机的原理，并对支持向量机的核函数理论和多类分类方法作较为深入的介绍。

### 2.1 支持向量机的定义和表达

#### 2.1.1 机器学习

所谓机器学习<sup>[7]</sup>，是根据给定的训练样本求出某系统输入与输出之间的依赖关系，使它能够对未知输出做出尽可能准确的预测，如图 2-1 所示。



图 2-1: 机器学习模型

机器学习可以形式化表示为：变量  $y$  与输入  $x$  存在一定的未知依赖关系，即遵循某一未知的联合概率  $F(x, y)$ 。机器学习的目的就是根据  $n$  个独立同分布学习样本

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \quad (2-1)$$

从一组函数  $\{f(x, w)\}$  中求出一个最优函数  $\{f(x, w_0)\}$ ，使得在对未知样本进行函数估计时，预测的期望风险

$$R(w) = \int L(y, f(x, w)) dF(x, y) \quad (2-2)$$

最小。其中  $\{f(x, w)\}$  为预测函数集， $w \in \Omega$  为函数的广义参数，因此  $\{f(x, w)\}$  可

以表示任何函数集,  $F(x, y)$  是样本的联合分布概率,  $L(y, f(x, w))$  是用  $f(x, w)$  对  $y$  进行估计时造成的损失, 称为损失函数, 不同类型的学习问题有不同的损失函数。预测函数通常也称作学习函数或学习机器。

对于模式识别问题, 输出  $y$  是类别标号。在两类识别情况下,  $y = \{0, 1\}$  或  $\{-1, 1\}$ , 对于两类识别问题, 定义损失函数为

$$L(y, f(x, w)) = \begin{cases} 0 & y = f(x, w) \\ 1 & y \neq f(x, w) \end{cases}$$

在这个损失函数下, 使期望风险最小。

学习的目的在于使期望风险最小, 必须依赖联合概率  $F(x, y)$  的信息, 即须已知类先验概率和类条件概率密度。然而实际上可以利用的信息只有观测样本 (2-1), 期望风险无法直接计算。

在传统的学习方法中, 学习的目标是使经验风险

$$R_{emp}(w) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(y_i, f(x_i, w)) \quad (2-3)$$

这是用算术平均式来定义已知的训练样本。用对参数  $w$  求经验风险  $R_{emp}(w)$  最小值来替代求期望风险  $R(w)$  的最小值, 即所谓的经验风险最小化原则 (Empirical Risk Minimization, ERM)。

然而, 从期望风险  $R(w)$  最小化到经验风险  $R_{emp}(w)$  最小化并没有可靠的理论依据。二者都是关于  $w$  的函数, 概率论中的大数定理只说明当样本趋于无穷多时, 经验风险 (2-3) 在概率意义上趋近于期望风险 (2-2), 但不能保证使  $R_{emp}(w)$  最小的点  $w'$  与使  $R(w)$  最小的点  $w''$  是同一点; 此外, 即使遵循大数定理在样本数无穷大时得到保证, 但是在样本有限的时候, 经验风险最小化是否能得到好的结果也无法认定, 而且在很多实际问题中, 样本的数目也远远达不到无穷大。

经验风险最小原理 (ERM) 准则不成功的一个例子就是几乎所有神经网络研究者都曾经遇到过的所谓的过学习 (over-fitting) 问题。人们多年来一直将大部分注意力集中到如何更好地求取最小的经验风险  $R_{emp}(w)$  上, 但很快发现, 一



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库